

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Analisis Pembebanan

Pada perancangan bangunan gedung ini, beban-beban yang ditinjau adalah beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban angin serta memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002 antara lain :

2.1.1 Kuat Perlu

- a. Kuat perlu untuk menahan beban mati:

$$U = 1,4 D \quad (2-1)$$

- b. Kuat perlu untuk menahan beban mati, beban hidup dan juga beban atap (A) atau beban hujan (R):

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R) \quad (2-2)$$

- c. Kuat perlu untuk menahan beban mati, beban hidup dan beban angin:

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,6W + 0,5(A \text{ atau } R) \quad (2-3)$$

$$U = 0,9D \pm 1,6W \quad (2-4)$$

- d. Kuat perlu untuk menahan beban mati, beban hidup dan beban gempa:

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E \quad (2-5)$$

$$U = 0,9D \pm 1,0E \quad (2-6)$$

Keterangan

U = kuat perlu

D = beban mati

W = beban angin

L = beban hidup

R = beban hujan

E = beban gempa

2.1.2 Kuat Rencana

Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban ormal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dari SNI 03-2847-2013, faktor reduksi kekuatan (ϕ) ditentukan sebagai berikut:

1. Lentur, tanpa beban aksial.....0,90
2. Beban aksial dan beban aksial lentur:
 - a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur.....0,90
 - b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
 - Komponen struktur dengan tulangan spiral.....0,70
 - Komponen struktur lainnya.....0,65
3. Geser dan torsi.....0,75

Geser pada komponen struktur penahan gempa yang kuat geser nominalnya lebih kecil daripada gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya.....0,55

2.1.3 Beban mati

Beban mati (D) adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai atap, plafon, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan lain terpasang lainnya termasuk berat keran (SNI 1727,2013) Beban mati sesuai dengan PPPURDG 1987, ditetapkan seperti tercantum dalam **tabel 2.1**

Tabel 2.1 Beban Mati

No	Jenis Material	Beban (KN/m ³)
1	Beton bertulang	24
2	Tegel	24
3	Spesi	21
4	Plafond	0,18
5	Aspal	14
6	Tembok	2,0

2.1.4 Beban Hidup

Beban hidup (L) adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lainnya yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727,2013)

Tabel 2.2 Beban Hidup Akibat Hunian

Ruang	Berat	Satuan
Ruang Berat Satuan Ruang pribadi dan Koridor yang melayani mereka	192	Kg/m ²
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	479	Kg/m ²
Ruang pertemuan	479	Kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250	Kg/m ²
Tangga Tetap	133	Kg/m ²

Sumber: Brosur Material Tahun 2014

2.2. Beban Gempa

Struktur gedung yang tidak memenuhi SNI 03-1726-2012 pasal 4.2.1, pengaruh gempa terhadap struktur bangunan harus ditentukan menggunakan analisis statik ekuivalen 3 dimensi.

2.2.1 Gempa rencana

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen

2.2.2 Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut **Tabel 2.4**

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

Lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung dan perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non Gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa 	III

lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumentasi - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun 	IV

lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori resiko.	IV

Sumber: SNI 1726:2012, Tabel 1

Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa

Kategori Resiko	Keutamaan Gempa
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.2.3 Wilayah gempa dan spektrum respons

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$S_{DS} = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot S_{MS} \quad (2-7)$$

$$S_{D1} = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot S_{M1} \quad (2-8)$$

Sedangkan nilai S_{MS} dan S_{MI} ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2-9)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (2-10)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpasang untuk periode 1,0 detik

Koefisien situs faktor implikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek, F_a dan faktor implikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik, F_v dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respon spectrum percepatan gempa (MCE _R)				
	Terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber: SNI 1726:2012, tabel 4

Tabel 2.6 Koefisien Situs

Kelas Situs	Parameter respon spectrum percepatan gempa (MCE_R)				
	Terpetakan pada perioda 1 detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Sumber: SNI 1726:2012, tabel 5

Catatan :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) S_S = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon situs spesifik.

Berdasarkan nilai SDS dan SD1, maka kategori desain seismik dapat ditentukan sesuai **tabel 2.7** dan **tabel 2.8**

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai SDS	Katagori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 < SDS < 0,33$	B	C
$0,33 < SDS < 0,5$	C	D
$0,5 \leq SDS$	D	D

Sumber: SNI 1726:2012, tabel 6

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DS}	Katagori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 < SDS < 0,133$	B	C
$0,133 < SDS < 0,20$	C	D
$0,2 \leq SDS$	D	D

Sumber: SNI 1726:2012, tabel 7

2.2.4 Struktur penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 , harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9 pada SNI 1726:2012.

2.2.5 Kombinasi beban gempa

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi sebagai berikut:

1. $= 1,4 D$
2. $= 1,2 D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
3. $= 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $= 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$

$$5. = 1,2 D + 1,0 E + L$$

$$6. = 0,9 D + 1,0 W$$

$$7. = 0,9 D + 1,0 E$$

Akibat pengaruh beban gempa, kombinasi pembebanan pada SNI 1726:2012, menjadi:

$$1. 1,4 D$$

$$2. 1,2 D + 1,6 L$$

$$3. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$$

$$4. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$$

$$5. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$$

$$6. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$$

$$7. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$$

$$8. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$$

$$9. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$$

$$10. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$$

$$11. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$$

$$12. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$$

$$13. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$$

$$14. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$$

$$15. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$$

$$16. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$$

$$17. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$$

$$18. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$$

Keterangan :

- D = Beban mati (dead load)
 L = Beban hidup (live load)
 Lr = Beban hidup pada atap (roof live load)
 R = Beban air hujan (rain load)
 W = Beban angin (wind load)
 E = Beban gempa (earthquake load)
 S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek
 ρ = Faktor redundansi

2.2.6 Periode fundamental struktur

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.2, sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a .

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-11)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari SNI 1726:2012 tabel 15.

Tabel 2.9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2012, tabel 14

Tabel 2.10 Nilai Parameter perioda pendekatan C_t dan X

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488a	0,75

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan T_a , dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N \quad (2-12)$$

keterangan :

N = Jumlah tingkat

Perioda fundamental pendekatan, T_a , dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari Persamaan 28 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2-13)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (2-14)$$

keterangan:

A_B = luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi (m²)

A_i = luas badan dinding geser “i”, dinyatakan dalam meter persegi (m²)

D_i = panjang dinding geser “i” dinyatakan dalam meter (m)

h_i = tinggi dinding geser “i” dinyatakan dalam meter (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

2.2.7 Prosedur Gaya Lateral Ekvivalen

a. Geser dasar Seismik

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s W \quad (2-15)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik (SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1)

W = Berat seismik efektif (SNI 1726:2012 pasal 7.7.2)

C_s harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-16)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan diatas tidak perlu melebihi:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T \frac{R}{I_e}} \quad (2-17)$$

C_S harus tidak kurang dari:

$$C_S = 0,044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (2-18)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_S harus diambil sebesar:

$$C_S = \frac{0,5S1}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-19)$$

b. Distribusi vertikal gempa

Gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari bersamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2-20)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-21)$$

keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

w = bagian berat seismik efektif total struktur

h = tinggi dari dasar

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
 untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k=1$ untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k=2$ untuk struktur yang mempunyai

periode antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

c. Distribusi horizontal gaya gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2-22)$$

keterangan:

F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i

2.3. Perencanaan Atap Baja

Dalam menganalisis struktur rangka kuda-kuda baja didasarkan pada SNI 03-1729-2013, dimana langkah-langkah perencanaan meliputi perencanaan gording, penentuan kombinasi beban, perhitungan profil kuda-kuda baja, dan perhitungan kekuatan jenis sambungan.

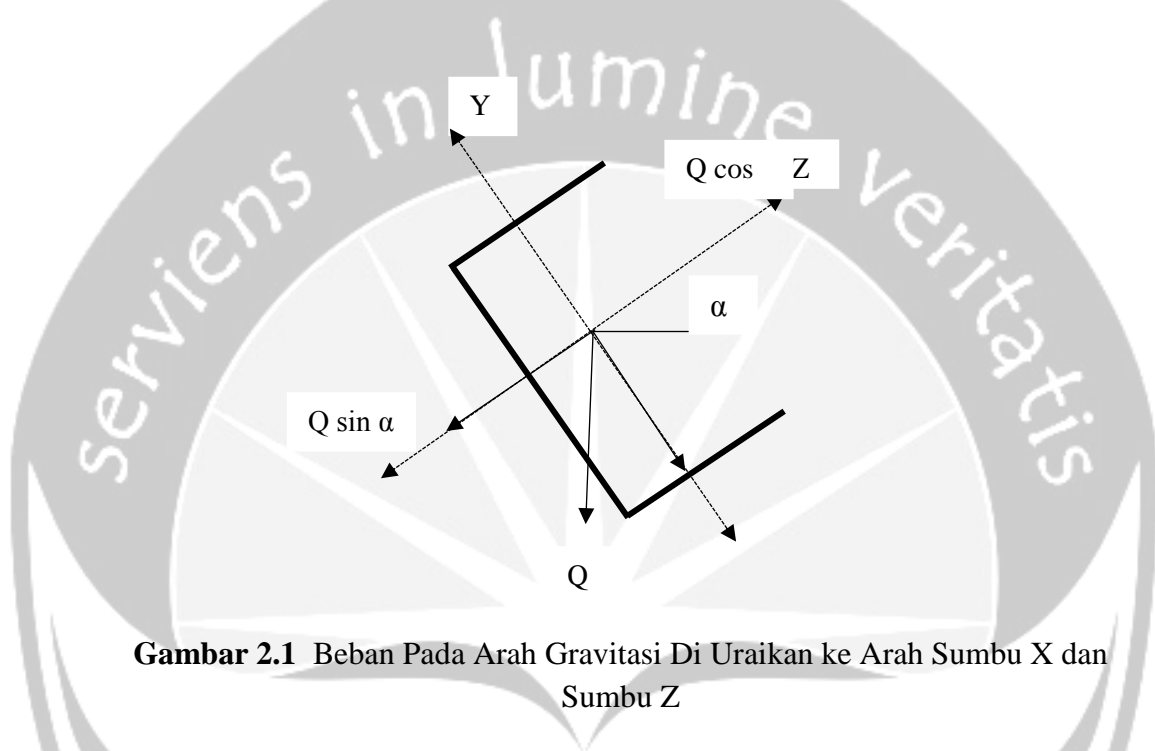
2.3.1 Perencanaan Gording

Pada perencanaan awal gording baja beban-beban yang mempengaruhi kinerja batang gording adalah:

1. Beban mati, yang terdiri dari : berat penutup atap (genteng, reng, usuk/kaso), berat sendiri gording, berat langit-langit dan penggantung, berat sagrod, baut.
2. Beban hidup, yang dapat terdiri dari beban terpusat dan beban air hujan.
3. Beban angin, yang terdiri dari beban angin tekan dan beban angin hisap.

Langkah selanjutnya setelah memperoleh nilai dari beban-beban yang secara langsung mempengaruhi perencanaan gording, yaitu dengan melakukan

nalisa strukturnya. Semua beban yang mengenai gording baja bekerja pada arah gravitasi (tegak lurus bidang datar) kemudian diuraikan ke arah sumbu lemah (z) dan sumbu kuat (y). Beban-beban gravitasi yang dikenai pada gording dapat dilihat seperti pada **Gambar 2.1.**, dibawah ini.



Gambar 2.1 Beban Pada Arah Gravitasi Di Uraikan ke Arah Sumbu X dan Sumbu Z

Menghitung nilai M_z (momen yang timbul akibat beban pada arah sumbu y) dan M_y (momen yang timbul akibat beban pada arah sumbu z). Untuk perencanaan gording, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan penampang profil kanal berdasarkan kelangsingan elemen-elemen tekannya:

1. Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.2 ayat 3, penampang kompak adalah untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$.
2. Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.2 ayat 4, penampang tak-kompak adalah untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$.

3. Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.2 ayat 5, penampang langsing adalah untuk penampang yang memenuhi $\lambda_r < \lambda$.

Dengan,

$$\lambda = \frac{b}{t} \quad (2-23)$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (2-24)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \quad (2-25)$$

keterangan :

λ = perbandingan lebar terhadap tebal

b = lebar flens

t = tebal flens

λ_p = perbandingan maksimum lebar terhadap tebal penampang kompak

λ_r = perbandingan maksimum lebar terhadap tebal penampang tak-kompak

f_y = tegangan leleh material

f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, pasal 8.2.1(b), dikatakan bahwa kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari antara:

$$M_p = f_y \cdot Z \quad (2-26)$$

atau,

$$M_p = 1,5 \cdot M_y = 1,5 \cdot f_y \cdot S \quad (2-27)$$

keterangan:

M_p = kuat lentur plastis

f_y = tegangan leleh material

M_y = momen leleh

S = modulus penampang elastis

1. Penampang Kompak

Dalam SNI 03-1729-2002, pasal 8.3, ayat 3, 4 dan 5, ditentukan besar kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah sebagai berikut:

1. Untuk bentang pendek, yang memenuhi $L \leq L_p$;

$$M_n = M_p \quad (2-28)$$

2. Untuk bentang menengah, yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$;

$$M_n = c_b \cdot \left[M_r + (M_p - M_r) \left(\frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2-29)$$

3. Untuk bentang panjang, yang memenuhi $L_r \leq L$;

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (2-30)$$

2. Penampang Tidak Kompak

Dalam SNI 03-1729-2002, pasal 8.2.4, ditentukan besar kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah sebagai berikut.

$$M_n = \left[M_p + (M_r - M_p) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (2-31)$$

Dalam SNI 03-1729-2002, pasal 8.2.1(c), ditentukan bahwa besarnya momen tekuk adalah sebagai berikut.

$$M_r = S \cdot (f_y - f_r) \quad (2-32)$$

keterangan:

M_n = momen nominal

M_p = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh

M_r = momen batas tekuk

S = modulus penampang elastis

Dalam perencanaan juga harus dilakukan kontrol terhadap penampang dan lendutan.

Kontrol penampang:

$$\frac{M_{uz}}{\phi M_{nz}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1 \quad (2-33)$$

keterangan:

M_{ux}, M_{uy} = momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y

M_{nx}, M_{ny} = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu-x dan sumbu-y

ϕ = faktor reduksi kekuatan

Kontrol lendutan:

$$\delta = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} \quad (2-34)$$

$$\delta \leq \frac{L}{240} \quad (2-35)$$

keterangan:

δ = lendutan;

L = panjang batang

2.3.2 Perencanaan Kuda-kuda

Untuk desain batang kuda-kuda, digunakan dobel profil siku. Dilakukan perencanaan terhadap batang akibat gaya tekan dan tarik.

1. Perencanaan Akibat Gaya Tekan

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 9.1, suatu komponen struktur tekan, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$a. \quad N_u \leq \phi_n N_n \quad (2-36)$$

keterangan:

N_u = gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor

N_n = kuat tekan nominal komponen struktur

ϕ = faktor reduksi kekuatan sebesar 0,85

b. Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 200$ (2-37)

keterangan:

λ = faktor kelangsingan

L_k = jarak antara pengekang lateral

r = jari-jari girasi daerah pelat sayap ditambah sepertiga bagian pelat badan yang mengalami tekan

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, pasal 7.6.2, daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut ini.

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} \quad (2-38)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (2-39)$$

Untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$ (2-40)

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{(1,67 - (0,67 \cdot \lambda_c))}$ (2-41)

Untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25 \cdot \lambda_c^2$ (2-42)

keterangan:

N_n = kuat tekan nominal komponen struktur

A_g = luas penampang bruto

f_{cr} = tegangan kritis penampang

f_y = tegangan leleh material

λ_c = parameter kelangsingan komponen struktur tekan

2. Perencanaan Akibat Gaya Tarik

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 10.1, suatu komponen struktur tarik, harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \quad (2-42)$$

keterangan:

N_u = gaya tarik aksial terfaktor

$\phi \cdot N_n$ = kuat tarik rencana

Besarnya kuat tarik rencana $\phi \cdot N_n$ diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga ϕ dan N_n di bawah ini:

$$\phi = 0,9 \rightarrow N_n = A_g \cdot f_y \quad (2-43)$$

dan,

$$\phi = 0,75 \rightarrow N_n = A_e \cdot f_u \quad (2-44)$$

keterangan:

A_g = luas penampang bruto

A_e = luas penampang efektif

f_y = tegangan leleh

f_u = tegangan tarik putus

2.3.3 Sambungan Baut

Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 13.5 ayat 3 butir 10 mensyaratkan bahwa kekuatan dasar $\phi \cdot R_n$ adalah sama atau melebihi jumlah beban-beban terfaktor, secara khusus untuk baut :

$$\phi \cdot R_n > R_u \quad (2-45)$$

keterangan :

ϕ = faktor resistansi

R_n = kuat nominal sambungan baut

R_u = kuat perlu

1. Kuat Geser

Kuat geser rencana dari suatu baut dihitung harus memenuhi atau sama dengan kuat geser terfaktor yaitu:

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_u^b A_b \quad (2-46)$$

keterangan:

$r_1 = 0,5$ (untuk baut tanpa ulir pada bidang geser),

$r_2 = 0,4$ (untuk baut dengan ulir pada bidang geser),

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_u^b = adalah tegangan tarik putus baut

A_b = adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

2. Kuat Tumpu

Kuat tumpu rencana bergantung pada bagian yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut;

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f . d_b . t_p . f_u \quad (2-47)$$

keterangan:

d_b adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p adalah tebal pelat

3. Jumlah Baut

$$n = \frac{P}{V_d} \quad (2-48)$$

atau,

$$n = \frac{P}{R_d} \quad (2-49)$$

4. Jarak Antar Baut

Jarak antar pusat lubang pengencang tidak boleh kurang dari 3 kali diameter nominal pengencang. Jarak minimum pada pelat harus memenuhi jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya.

a). Jarak Tepi Minimum

Jarak minimum dari pengencang ke tepi pelat atau pelat sayap profil harus memenuhi spesifikasi dalam **tabel 2.11**.

Tabel 2.11 Jarak Minimum Baut Pengencang

Tepi dipotong dengan tangan	Tepi dipotong dengan mesin	Tepi profil bukan hasil potongan
$1,75 d_b$	$1,5 d_b$	$1,25 d_b$

b). Jarak Maksimum

1. Jarak antara pusat pengencang (as ke as)

$$\geq 3 d_b$$

$$\leq 15 t_p \text{ (} t_p \text{ ditinjau tebal pelat yang terbesar)}$$

$$\leq (4t_p + 100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

2. Jarak tepi maksimum (tepi ke as baut)

$$\geq 1,5 d_b$$

$$\leq 12 t_p$$

$$\leq 150 \text{ mm}$$

5. Kontrol Terhadap Kuat Tarik Sambungan Baut

Besarnya kuat tarik rencana ϕN_n sesuai dengan persamaan (2-33) dan (2-35)

6. Penampang Efektif

$$A_e = A \cdot U \quad (2-49)$$

keterangan:

A adalah luas penampang menurut butir 10.2.1 sampai 10.2.4 (SNI 03-1727-2002)

U adalah faktor reduksi $= 1 - (x/L) \leq 0,9$, atau menurut butir 10.2.3 dan 10.2.4

x adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus gaya tarik antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, (mm).

L adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, (mm).

2.4 Perencanaan Pelat

Tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.5, yaitu:

1. Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :
 - a. Pelat tanpa penebalan : 120 mm
 - b. Pelat dengan penebalan : 100 mm
2. Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tetapi tidak lebih dari 2,0 pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \left(0,8 \times \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \quad (2-50)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm,

3. Untuk α_m yang lebih besar dari 2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \cdot \left(0,8 \times \frac{f_y}{1500} \right)}{38 + 9, \beta} \quad (2-51)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

untuk ketiga syarat di atas :

α = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dengan panel-panel yang besebelahan, bila ada pada tiap sisi baloknya.

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

β = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

Pemilihan tipe pelat diperoleh dari perbandingan bentang panjang (l_y) dengan bentang pendek (l_x) dengan syarat sebagai berikut:

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2, \text{ berarti tipe plat 2 arah} \quad (2-52)$$

$$\frac{l_y}{l_x} > 2, \text{ merupakan tipe pelat 1 arah} \quad (2-53)$$

Menghitung tinggi efektif pelat yang searah sumbu x (dx) dan searah sumbu y (dy) dengan cara:

$$dx = h - (p + \phi x) \quad (2-54)$$

$$dy = h - (p + \phi x + 0,5 \cdot \phi y) \quad (2-55)$$

2.4.1 Tulangan Lentur Pelat

Tulangan lentur direncanakan dengan tulangan tunggal.

$$C_c = T_s \quad (2-56)$$

$$0,85.f'_c'.a.b = \rho .b.d.f_y \quad (2-57)$$

$$a = \rho \left(\frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \cdot d \quad (2-58)$$

Dari keseimbangan momen diperoleh :

$$M_n = C_c \cdot (d - 0,5 \cdot a) \quad (2-59)$$

$$= T_s \cdot (d - 0,5 \cdot a) \quad (2-60)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan di atas akan diperoleh:

$$\frac{M_n}{b \cdot d^2} = \rho \cdot f_y \left[1 - 0,5 \cdot \rho \left(\frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \right] \quad (2-61)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2-62)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_u}{0,8 \cdot b \cdot d^2} \quad (2-63)$$

Ratio penulangan:

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (2-64)$$

Dengan diketahui nilai ρ maka bisa dicari kebutuhan tulangan lentur yang diperlukan berdasar nilai momen yang terjadi. Batasan tulangan tarik minimum sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 12.5(4) diambil nilai sebesar tulangan susut. Sedangkan nilai ρ maksimum untuk tulangan tarik tunggal sesuai SNI 03-2847 2013 pasal 12.3(3) ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\rho_{maks} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2-65)$$

Perhitungan luas tulangan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \cdot b \cdot d \quad (2-66)$$

$$A_s \max = \rho \max \cdot b \cdot d \quad (2-67)$$

$$A_s \min = \rho_g \cdot b \cdot h \quad (2-68)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_{smin} \leq A_{sperlu} \leq A_{smax} \quad (2-69)$$

2.4.2 Tulangan Susut

Tulangan susut dipasang tegak lurus terhadap tulangan lentur, berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2 tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar :

1. ρ susut $> 0,0014$
2. untuk $f_y = 300$ MPa, ρ susut $= 0,0020$
3. untuk $f_y = 400$ MPa, ρ susut $= 0,0018$
4. untuk $f_y > 400$ MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 %, ρ susut $= 0,0018 \times 400/f_y$

Untuk nilai $f_y = 240$ MPa, ρ susut didapat dari

$$\rho_g = 0,0018 + \frac{(0,0020 - 0,0018)}{(400 - 300)} \cdot (400 - 240) = 0,00212 \quad (2-70)$$

$$\text{Sepasi} = 1000 \frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{A_s} \quad (2-71)$$

Pada penulangan lapangan cara yang sama dapat diterapkan.

Memeriksa geser pelat :

$$\phi V_n = \phi V_c = \phi \cdot (1/6 \cdot \sqrt{f'c}) \cdot b_w \cdot d \quad (2-72)$$

dengan: ϕ = faktor reduksi (0,60)

$$V_u = 1,15 \left(\frac{W_u l_n}{2} \right) \quad (2-73)$$

Cek syarat $V_u < \phi V_n$, maka pelat tidak diperlukan penulangan geser karena beton masih mampu menahannya.

keterangan:

- h = tebal pelat
- p = selimut beton
- ϕ_x = diameter tulangan arah x
- ϕ_y = diameter tulangan arah y
- M_n = momen nominal
- M_u = momen ultimit
- b = lebar pelat = 1000 mm
- β_1 = 0,85 untuk $f'_c \leq 30$ MPa
 $= 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$ untuk $30 \text{ MPa} < f'_c \leq 55 \text{ MPa}$
 $= 0,65$ untuk $f'_c > 55 \text{ MPa}$
- f_y = tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non pratekan
- f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

2.5. Perencanaan Tangga

Berdasarkan SNI 2013 pasal 9.7 ayat 1.c (BSN,2013a hal 41) pelindung beton untuk tulangan digunakan sebesar 20 mm untuk tulangan diameter < 36 mm. Tangga dimodelkan sebagai balok tipis dengan lebar 1000 mm.

a. Perencanaan dimensi tangga

$$\text{Jumlah anak tangga (n)} = \frac{h}{o} \quad (2-74)$$

$$\text{Tinggi tanjakan terbagi rata optrede } (\bar{o}) = \frac{h}{n} \quad (2-75)$$

$$\text{Jumlah tanjakan naik (N)} = \frac{n}{2} \quad (2-76)$$

$$\text{Lebar injakan (antrede)} = \frac{P_{\text{tangga}} - l_{\text{bordes}}}{N} \quad (2-77)$$

Check syarat kelandaian:

$$60 \leq 2 \cdot \text{Optrede} + \text{Antrede} \leq 65 \quad (2-78)$$

$$tt' = \frac{0,5 \cdot \text{optrede} \times \text{antrede}}{\sqrt{\text{optrede} + \text{antrede}}} \quad (2-79)$$

$$\tan \alpha = \arctan \frac{\text{optrede}}{\text{antrede}}$$

keterangan:

- h = selisih tinggi lantai
- o = rencana tinggi tangga (optrede)
- P_{tangga} = panjang ruang tangga
- l_{bordes} = lebar bordes
- tt = tebal pelat tangga = tebal bordes
- tt' = tebal anak tangga
- α = sudut kemiringan tangga

- b. Momen untuk perhitungan tulangan lentur diperoleh dari hasil analisis gaya dalam tangga dengan kombinasi beban hidup dan beban mati terfaktor ($1,2 \cdot q_d + 1,6 \cdot q_l$) menggunakan bantuan software ETABS versi 9.0.0.
- c. Penulangan lentur dan susut mengikuti langkah yang sama dengan yang dijabarkan pada penulangan lentur pelat. Batasan tulangan tarik minimum sesuai SNI 03-2847-2013 diambil sebesar tulangan susut.

2.6 Perencanaan Balok

Sebagai salah satu langkah yang dilakukan perancang guna mempermudah proses perancangan dalam memperoleh dimensi yang sesuai dan juga menghindari pengulangan perhitungan yang berulang-ulang maka pada perencanaan awal balok

struktur harus diawali dengan estimasi besarnya dimensi struktur yang akan dipakai. Dalam SNI 03-2847-2013 pasal 11.5 **Tabel 2.12** dijelaskan tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.

Tabel 2.12 Tebal Minimum Balok dan Pelat Satu Arah Non-Prategang

Komponen Struktur	Tebal Minimum, h			
	Dua Tumpuan	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Pelat solid satu arah	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Balok atau pelat jalur satu arah	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

dengan catatan :

bentang l dalam mm,

nilai yang digunakan untuk komponen struktur beton normal $W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$ dan tulangan dengan mutu baja BJTD 40 atau $f_y = 400 \text{ MPa}$,

apabila $f_y \neq 400 \text{ MPa}$, maka harus dikalikan dengan $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$

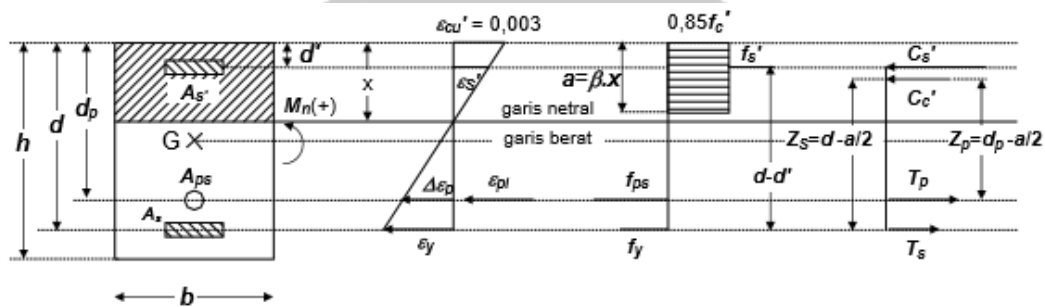
Lebar balok (b) harus memenuhi:

perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3

lebar balok tidak kurang dari 250 mm

2.6.1. Perencanaan Tulangan Lentur Balok

Perencanaan tulangan lentur dengan tulangan rangkap, dimana keseimbangan gaya-gaya dalam penampang sesuai **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Analisis Lentur Penampang Balok Dengan Tulangan Rangkap

Gaya-gaya yang bekerja pada penampang balok dengan tulangan rangkap:

Gaya desak beton:

$$C_c = 0,85f'_c ab \quad (2-80)$$

Gaya desak baja tulangan:

$$C_s = A_s' f'_s \quad (2-81)$$

Gaya tarik baja tulangan:

$$T_s = A_s f_s \quad (2-81)$$

Keseimbangan gaya-gaya horizontal penampang memenuhi:

$$C = T \quad (2-82)$$

$$C_c + C_s = T_s \quad (2-83)$$

$$0,85f'_c ab + A_s' f'_s = A_s f_s \quad (2-84)$$

menghasilkan persamaan:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c - 30)}{7} \quad (2-85)$$

$$a = \beta_1 \cdot c \quad (2-86)$$

$$a = \frac{A_s f_y - A_s' f_s'}{0,85 f_c' b} \quad (2-87)$$

Letak garis netral (c) = $\frac{a}{\beta_1}$

Dari persamaan (3.73) jika diasumsikan tulangan baja desak sudah leleh, maka harus memenuhi:

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{a - \beta_1 d}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (2-89)$$

$$a \geq \frac{0,003 E_s}{0,003 E_s - f_y} \beta_1 d \quad (2-90)$$

dari persamaan (3.89) dan (3.90), untuk menunjukan tulangan desak belum leleh jika:

$$\rho - \rho' \leq \frac{0,85 f_c' \beta_1 d'}{f_y d} \cdot \frac{0,003 E_s}{0,003 E_s - f_y} \quad (2-91)$$

jika tulangan desak belum leleh, maka:

$$f_s' = \varepsilon_s' E_s = 0,003 \frac{a - \beta_1 d}{a} E_s \quad (2-92)$$

dari kesetimbangan momen diperoleh:

$$M_n = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d') \quad (2-93)$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \quad (2-94)$$

2.6.2. Perencanaan Tulangan Geser Balok

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n = V_u \quad (2-95)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-96)$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

SNI 03-2847-2013 pasal 13.3(1) menetapkan kuat geser beton untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur sebagai berikut.

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (2-97)$$

SNI 03-2847-2013 pasal 13.5(6(2)), menyatakan kuat geser tulangan untuk perencanaan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur sebagai berikut.

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2-98)$$

keterangan ; A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s .

Tulangan geser harus memenuhi pasal 13.5(4(3)) dan pasal 13.5(6(9))

$$V_s < \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{3} \right) b_w d \quad (2-99)$$

$$V_s < \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-100)$$

keterangan: A_v = luas tulangan geser.
 s = jarak antar tulangan geser.
 V_s = kuat geser tulangan.

Apabila V_s melebihi persamaan (3-81), maka spasi maksimum yang diberikan dalam SNI 03-2847-2013 pasal 13.5(4(1)) dan 13.5(4(2)) harus dikurangi setengahnya.

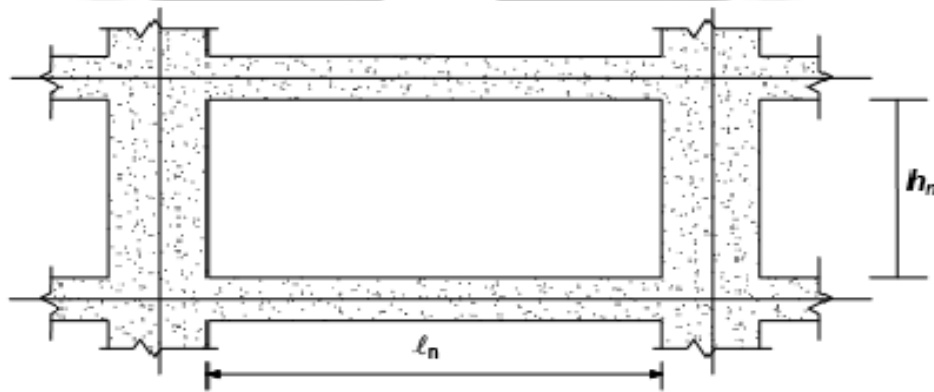
SNI 03-2847-2013 pasal 23.10(3) menyatakan gaya geser rencana balok untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah sebagai berikut:

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2} \quad (2-101)$$

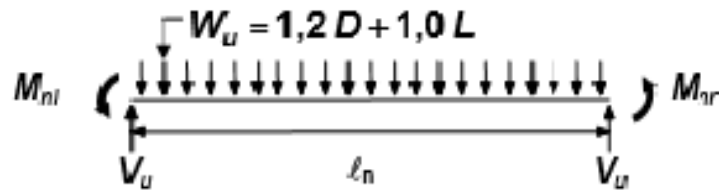
keterangan

W_u = beban gravitasi terfaktor yang bekerja pada balok
 = D L 1,2 1,0 + pada penampang yang ditinjau.

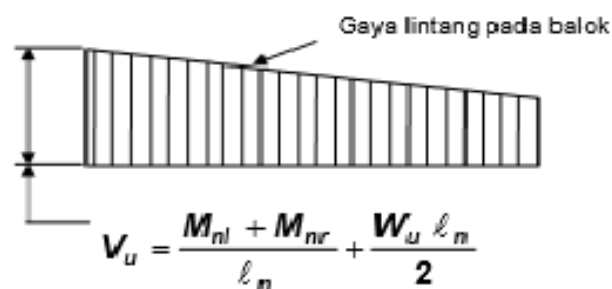
W_u = beban gravitasi terfaktor yang bekerja pada balok
 = DL 1,2 1,0 + pada penampang yang ditinjau



Gambar 2.3 Potongan Portal Balok Kolom



Gambar 2.4 Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi Terfaktor



Gambar 2.5 Gaya Lintang Rencana Balok Untuk SRPMM

Batas spasi tulangan geser sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 23.10(4(2)) pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang harus dipasang sengkang sepanjang dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan kearah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal tulangan terkecil
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

dan sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

2.6.3. Perencanaan Tulangan Torsi Balok

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(1a), pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir T_u besarnya kurang dari:

$$T_u < \phi \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2-102)$$

keterangan :

T_u = momen puntir akibat beban terfaktor

ϕ = faktor reduksi torsi

P_{cp} = keliling luar penampang beton

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(2.a), momen puntir terfaktor maksimum untuk komponen struktur non-prategang dapat dikurangi menjadi:

$$\phi \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2-103)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(3(5)), tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$\Phi \cdot T_n \geq T_u \quad (2-104)$$

keterangan:

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = kuat momen puntir nominal penampang

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(3(1.a)), dimensi penampang solid harus mampu menahan kuat lentur puntir :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3} \right) \quad (2-105)$$

keterangan:

- Ph = keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar \
- Aoh = luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar
- Bw = lebar badan balok atau diameter penampang bulat
- Vu = gaya geser terfaktor pada penampang
- d = jarak dari serat terluar ke titik berat tulangan longitudinal
- Vc = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} \quad (2-106)$$

$$T_n = \frac{2.A_o.A_t.f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta \quad (2-107)$$

dengan $A_o = 0,85 \cdot A_{oh}$

$\theta = 45^\circ$ untuk komponen struktur non-prategang

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2.A_o.f_{yv} \cdot \cot \theta} \quad (2-108)$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} \quad (2-109)$$

Merencanakan sengkang geser tertutup gabungan torsi dan geser:

$$\frac{A_{v_{gabungan}}}{s_{gabungan}} = 2 \cdot \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \quad (2-110)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(5(2)), luas minimum tulangan sengkang tertutup harus dihitung dengan ketentuan:

$$(A_v + 2.A_t)_{min} = \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{y_v}} \quad (2-111)$$

Dengan $(A_v + 2.A_t)$ tidak boleh kurang dari,

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{y_v}} \quad (2-112)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(6(1), spasi tulangan sengkang puntir tidak boleh melebihi nilai terkecil antara $ph/8$ atau 300 mm.

2.6.4. Tulangan Longitudinal Tambahan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(7), tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang dari pada:

$$A_t = \frac{A_t}{s} \cdot ph \cdot \left(\frac{f_{y_v}}{f_{y_l}} \right) \cdot \cot^2 \theta \quad (2-113)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(7), luas total minimum tulangan puntir longitudinal harus dihitung dengan ketentuan:

$$A_{l,min} = \frac{5\sqrt{f'_c \cdot A_{cp}}}{12 \cdot f_{y_l}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot ph \cdot \frac{f_{y_v}}{f_{y_l}} \quad (2-114)$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari:

$$\frac{b_w}{6 \cdot f_{y_v}} \quad (2-115)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.6(6(1), tulangan longitudinal harus didistribusi disekiling perimeter sengkang tertutup dengan spasi tidak melebihi 300 mm.

3.7. Perencanaan Kolom

Kolom dan tingkat pada struktur harus dikelompokkan sebagai tidak bergoyang atau bergoyang. Suatu tingkat pada struktur boleh dianggap tidak bergoyang bila nilai:

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta_o}{V_u \cdot \lambda_c} \leq 0,05 \quad (2-116)$$

keterangan:

$\sum P_u$ = beban vertikal total pada tingkat yang ditinjau
 V_u = gaya geser lantai total pada tingkat yang ditinjau
 Δ_o = simpangan relatif antar tingkat
 λ_c = tinggi kolom

2.7.1. Perencanaan Kelangsingan Kolom

Pengaruh kelangsingan pada struktur tekan menurut SNI 03-2847-2013 pasal

12.13 dapat diabaikan apabila:

$$\frac{kl_u}{r} < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \text{ (struktur tak bergoyang)} \quad (2-117)$$

$$\frac{kl_u}{r} < 22 \text{ (struktur bergoyang)} \quad (2-118)$$

keterangan:

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
 l_u = panjang bersih komponen struktur tekan.
 r = radius girasi struktur tekan, boleh diambil 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau untuk komponen struktur tekan persegi (SNI 03-2847-2013 pasal 12.11(2)).
 $M1, M2$ = momen-momen ujung terfaktor pada kolom yang posisinya berlawanan
= nilai $M1 < M2$

Nilai k untuk komponen struktur tekan diambil menurut gambar 5 SNI 03-2847-2013 dengan ketentuan ψ seperti berikut:

$$\psi = \frac{\left(\frac{E \cdot I_c}{\lambda_c} \right)_{kolom}}{\left(\frac{E_b \cdot I_b}{\lambda_b} \right)_{balok}} \quad (2-119)$$

keterangan:

- ψ = rasio $\sum(E_c I_c)$ dari komponen struktur tekan terhadap $\sum(E_c I_c / \lambda)$ dari struktur lentur pada salah satu ujung komponen struktur tekan yang dihitung dalam bidang rangka yang ditinjau,
- λ = panjang bentang dari komponen struktur yang diukur dari pusat ke pusat join,
- E_c = modulus elastis kolom,
- I_c = momen inersia kolom, sesudah dikurangkan dengan faktor susut kolom sebesar 30 % (0,7.Ig),
- E_b = modulus elastis balok,
- I_b = momen inersia kolom, sesudah dikurangkan dengan faktor susut kolom sebesar 65 % (0,35.Ig).

2.7.2. Perencanaan Tulangan Longitudinal

Dalam perencanaan kolom pada struktur ini digunakan desain kolom biaksial. Untuk penyederhanaan perhitungan momen-momen yang bekerja dengan dua arah yang dijumlahkan dengan penjumlahan vektor, sehingga analisisnya dapat menjadi lebih sederhana yaitu secara uniaksial. Langkah-langkah perencanaan kolom secara uniaksial sebagai berikut:

Tentukan dimensi kolom

$$P_u = 0,80\phi(0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2-120)$$

Pilih konstanta $\beta = 0,65$

1. Menghitung gaya aksial dan momen nominal dua arah yang diperoleh dari hasil analisis struktur dengan program bantuan,

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \quad (2-121)$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi} \quad (2-122)$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi} \quad (2-123)$$

2. Menghitung perkiraan kuat momen uniaksial yang bekerja pada struktur yaitu sebagai berikut ini,

- a. Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} > \frac{b}{h}$ digunakan rumus:

$$M_{noy} = M_{nx} \cdot \frac{b}{h} \cdot \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) + M_{ny} \quad (2-124)$$

- b. Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} < \frac{b}{h}$ digunakan rumus:

$$M_{nox} = M_{ny} \cdot \frac{b}{h} \cdot \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) + M_{nx} \quad (2-125)$$

3. Berdasarkan nilai M dan P yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, kolom dirancang secara uniaksial dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$k_m = \frac{M_{nox}}{f'_c \cdot b \cdot h} \quad (2-126)$$

4. Berdasarkan nilai k_m dan k_p yang telah dihitung, dengan menggunakan diagram interaksi yang ada dapat diperoleh rasio tulangan ρ_s .
5. Menentukan kekuatan penampang dengan menggunakan “Bresler Reciprocal Load Method”, yaitu dengan menjumlahkan kapasitas suatu penampang kolom yang berada dibawah aksial tekan dan lentur dua arah, yaitu dengan menggunakan persamaan berikut ini,

$$P < \frac{1}{\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}} \quad (2-127)$$

keterangan:

P_{ox} = kuat beban uniaksial maksimum dengan $M_{nx} = P_{n.ey}$

- Poy = kuat beban kolom uniaksial maksimum dengan $M_{ny} = P_n \cdot e_x$
 Po = kuat beban kolom uniaksial maksimum tanpa adanya momen yang bekerja (lentur murni, $P_u = 0$)

2.7.3. Perencanaan Tulangan Geser Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-128)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-129)$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 13.3(1(2)), kuat geser beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2-130)$$

Besaran $\frac{N_u}{A_g}$ harus dinyatakan dalam MPa.

Dalam SNI 03-2847-2013 pasal 23.10(3) gambar 47, menyatakan gaya geser kolom untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah harus memenuhi:

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \quad (2-131)$$

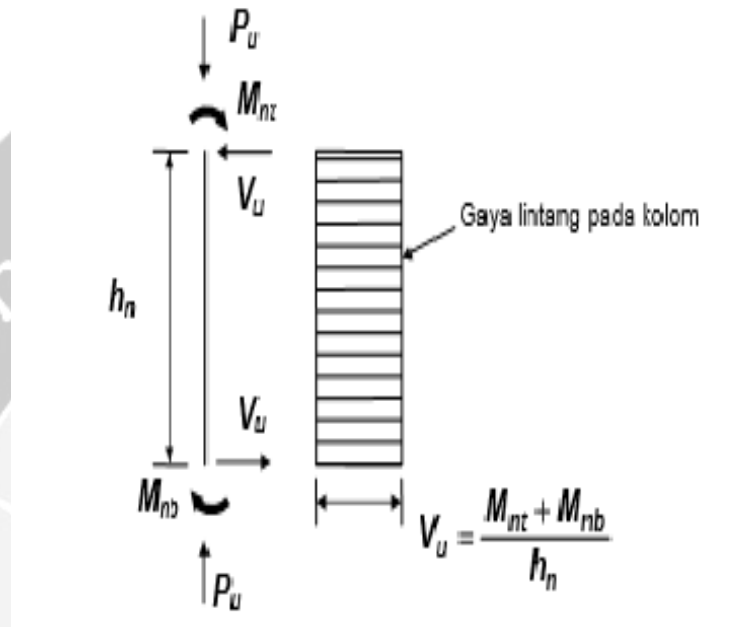
keterangan:

V_u = gaya geser.

M_{nt} = kuat lentur momen atas.

M_{nb} = kuat lentur momen bawah.

h_n = tinggi kolom.



Gambar 2.6 Gaya Lintang Rencana Kolom untuk SRPMM

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 23.10(5), panjang ℓ_o di daerah kolom pada SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- Seperenam tinggi bersih kolom,
- Dimensi terbesar penampang kolom dan
- 500 mm.

SNI 03-2847-2013 pasal 23.10(5(1)) menyatakan spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang ℓ_o pada SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) dari muka hubungan balok-kolom adalah s_o . Spasi s_o tersebut tidak boleh melebihi

- Delapan kali diameter tulangan longitudinal kecil,

- b. 24 kali diameter sengkang ikat,
- c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur dan
- d. 300 mm.

SNI 03-2847-2013 pasal 23.10(5(2)) menyatakan bahwa sengkang ikat yang pertama harus dipasang pada SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) dengan jarak tidak lebih daripada $0,5 s_o$ dari muka hubungan balok-kolom.

2.7.4. Perencanaan Hubungan Balok-Kolom

Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25 f_y$.

SNI 03-2847-2013 pasal 23.5(3(1)) menyebutkan bahwa kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut:

Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya

$$1,7\sqrt{f'_c} A_j \quad (2-132)$$

Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan

$$1,25\sqrt{f'_c} A_j$$

Untuk hubungan lainnya

$$1,0\sqrt{f'_c} A_j$$

Untuk spasi tulangan transversal SNI 03-2847-2013 pasal 23.4(4(2)) mensyaratkan spasi tidak boleh lebih dari:

- a. Seperempat dari diameter terkecil komponen struktur,
- b. Enam kali diameter tulangan longitudinal, dan

$$S_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

Nilai s_x tidak perlu lebih besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil daripada 100 mm.

2.8 Perencanaan Pondasi

a. Perhitungan Daya Dukung Ultimate Pondasi Berdasarkan Data

$$Q_s = K_{s,c} \left[\sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} f_s A_s + \sum_{z=8D}^L f_s A_s \right] \quad (2-133)$$

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} A_b \quad (2-134)$$

dimana:

- Q_p = daya dukung ujung tiang
- q_{c1} = nilai q_c rata-rata pada 0.7D - 4D dibawah ujung tiang
- q_{c2} = nilai q_c rata-rata 8D diatas ujung tiang
- A_b = luas proyeksi penampang tiang
- Q_s = daya dukung selimut tiang
- $K_{s,c}$ = faktor koreksi gesekan selimut tiang
- f_s = nilai friksi, didapat dari mengalikan
- A_s = luas selimut tiang

Schmertmann (1967) menggunakan korelasi nilai N-SPT dengan tahanan konus untuk menentukan daya dukung ujung dan tahanan selimut tiang. Tabel 3.13

menunjukkan nilai korelasi gesekan selimut dan tahanan ujung tiang pancang menurut Schmertmann.

Tabel 2.13 Nilai Korelasi Gesekan Selimut & Tahanan Ujung Tiang Pancang

Jenis Tanah	Keterangan	Gesekan Selimut (kgr/cm ²)	Tahanan Ujung (kgr/cm ²)
Pasir bersih (utk N>60, diambil N = 60)	GW, GP, GM, SW, SP, SM	0,019 N	3,2 N
Lempung kelanauan bercampur pasir, pasir kelanauan lanau	GC, SC, ML, CL	0,04 N (dianjurkan direduksi utk lempung kaku dan lempung kepasiran)	1,6 N
Lempung plastis	CH, OH	0,05 N (dianjurkan direduksi utk lempung kaku dan lempung kepasiran)	0,7 N
Batu gamping rapuh, pasir berkarang		0,01 N	3,6 N

Sumber: Schmertmann (1967)

b. Perhitungan Daya Dukung Ultimate Pondasi Berdasarkan Data Hasil Tes Pembebanan/Loading Test dengan Metode Davisson

Prosedur untuk menentukan beban ultimate menggunakan metode Davisson adalah sebagai berikut:

1. menggambar kurva hubungan antara beban dengan penurunan,
2. menentukan persamaan penurunan elastis (Δ)

$$\Delta = \frac{(Q_{VA} L)}{AE} \quad (2-135)$$

3. menggambar sebuah garis OA berdasarkan persamaan penurunan elastis (Δ)
4. menghitung nilai offset (x) garis OB terhadap garis AB

$$x = 0,15 + \left(\frac{D}{120} \right) \text{ inchi} \quad (2-136)$$

5. menggambar sebuah garis OB
6. menentukan beban ultimate dari perpotongan garis OB pada kurva beban dengan penurunan

c. Daya Dukung Ijin Tiang Pancang

Daya dukung tiang didapat dengan cara membagi nilai daya dukung ultimit tiang dengan nilai faktor keamanan. Menurut Pugsley (1966), untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur sebagai berikut:

- a. Bangunan monumental, seperti menara, monumen, tugu monumental, dan lain-lain pada umumnya memiliki umur rencana lebih dari 100 tahun;
- b. Bangunan permanen, seperti bangunan-bangunan gedung, jembatan, jalan raya, jalan kereta api; pada umumnya memiliki umur rencana sekitar 50 tahun;
- c. Bangunan sementara, pada umumnya memiliki umur rencana kurang dari 25 tahun, bahkan setelah bangunan permanen yang didukung selesai bangunan sementara ini langsung dibongkar. Sebagai contoh: cofferdam, bracing untuk galian tanah, jembatan sementara dan lain-lain.

Tingkat pengendalian dan pengawasan selama konstruksi berjalan juga dapat dipakai untuk menentukan faktor keamanan. Tingkat pengendalian dapat dikategorikan sebagai berikut:

- a. Pengendalian baik: kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi pondasi didasari pada program penyelidikan tanah dengan tingkat profesional, terdapat informasi uji pembebanan di lokasi proyek atau di lokasi sekitar proyek, dan pengawasan konstruksi dilaksanakan secara ketat.

- b. Pengendalian sedang: kondisi ini mewakili kondisi yang paling umum dilakukan pada proyek konstruksi. Mirip dengan kondisi(1) – pengendalian baik, hanya saja kondisi tanah bervariasi dan tidak ada informasi mengenai data pengujian beban.
- c. Pengendalian kurang: tidak ada informasi uji pembebanan, tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian tanah dilakukan dengan baik, pengawasan kurang ketat.
- d. Pengendalian buruk: kondisi tanah sangat bervariasi atau dapat dikatakan sangat buruk, penyelidikan tanah tidak mencukupi, tidak ada data uji pembebanan.

Nilai faktor keamanan menurut Reese & O'Neill dilihat dari klasifikasi struktur serta jenis pengendaliannya terdapat pada **Tabel 2.14**

Tabel 2.14 Faktor Keamanan untuk Pondasi Tiang

FAKTOR KEAMANAN			
Klasifikasi Struktur	Bangunan Monumental	Bangunan Permanen	Bangunan Sementara
Probabilitas kegagalan yang dapat diterima	$PF = 10^{-5}$	$PF = 10^{-4}$	$PF = 10^{-3}$
Pengendalian baik	2,3	2,0	1,4
Pengendalian Sedang	3,0	2,5	2,0
Pengendalian kurang	3,5	2,8	2,3
Pengendalian Buruk	4,0	3,4	2,8

Sumber: Reese & O'Neill (1989)

d. Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

- **Metode Poulos dan Davis**

Perhitungan efisiensi kelompok tiang dengan metode Poulos dan Davis dihitung dengan rumus berikut:

$$e = 1 - \frac{d}{\pi \cdot S \cdot m} [m(n-1) + (m-1) + 2(m-1)(n-1)] \quad (2-138)$$

dimana:

e = efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang pondasi

d = diameter tiang

- **Metode Los Angeles Group**

Perhitungan efisiensi kelompok tiang dengan metode Los Angeles Group dihitung dengan rumus berikut:

$$e = 1 - \frac{d}{\pi \cdot S \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)2] \quad (2-139)$$

a. Kelompok Tiang

Daya dukung *ultimate* kelompok tiang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\sum Q_u = m \cdot n (Q_p + Q_s) \cdot e \quad (2-140)$$

dimana:

m = jumlah baris dalam kelompok tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

e = efisiensi tiang kelompok

b. Perencanaan *Pile Cap*

Peraturan untuk perencanaan pondasi telapak tercantum pada SNI 2847 Tahun 2013. Perencanaan pondasi harus mencakup segala aspek agar terjamin keamanannya sesuai dengan persyaratan yang berlaku, misalnya: penentuan dimensi *pile cap*, tebal pondasi, dan jumlah/jarak penulangan yang harus dipasang pada pondasi. Secara garis besar, perencanaan pondasi, dalam hal ini *pile cap*, yang lengkap harus memenuhi 5 kriteria berikut:

1. Menentukan ukuran *pile cap*

Ukuran panjang dan lebar *pile cap* harus ditetapkan sedemikian rupa dengan menggunakan acuan rumus berikut:

Jarak antar tiang

$$2,5 D \leq S \leq 3 D$$

Jarak tiang ke tepi

$$1,25 D \leq S \leq 1,5 D$$

2. Mengontrol kuat geser 1 arah

Gaya geser 1 arah yang bekerja pada dasar pondasi dapat mengakibatkan retak pondasi pada jarak $\pm d$ dari muka kolom, dengan d adalah tebal efektif pondasi. Menurut Nawy, Edward G (1998) mengatakan bahwa penampang kritis terhadap geser pada pondasi dianggap terletak pada bidang yang melintang seluruh lebar, dan terletak pada jarak d dari muka reaksi terpusat. Dalam hal demikian, kekuatan geser nominal penampang tersebut adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c b_w d} \quad (2-141)$$

dengan: b_w adalah lebar pondasi.

3. Mengontrol kuat geser 2 arah

Akibat gaya geser 2 arah (geser pons), maka pondasi akan retak disekeliling kolom dengan jarak $\pm d/2$ dari muka kolom. Menurut Nawi, Edward G (1998), mengatakan bahwa penampang kritis yang tegak lurus terhadap bidang pelat dianggap terletak pada lokasi sedemikian rupa sehingga mempunyai keliling minimum b_o . Penampang kritis terjadi pada jarak $d/2$ dari muka tumpuan. Kekuatan geser penampang demikian adalah:

$$V_c = \left(\frac{2}{\beta_c} + 1 \right) \frac{1}{6} (f'_c) b_o d \quad (2-142)$$

$$V_c = \frac{1}{3} (f'_c) b_o d$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \frac{1}{12} (f'_c) b_o d \quad (2-143)$$

dengan:

β_c = $\frac{\text{sisi panjang kolom}}{\text{sisi pendek kolom}}$

b_o = keliling penampang kritis

α_s = 40 untuk pondasi kolom dalam
 = 30 untuk pondasi kolom tepi
 = 20 untuk pondasi kolom sudut

4. Menghitung tulangan pile cap

Beban yang bekerja pada pondasi berupa beban vertikal dengan arah ke atas yang disebabkan oleh tekanan tanah di bawah pondasi. Tulangan pondasi dihitung

berdasarkan momen maksimal yang terjadi pada pondasi, dengan asumsi bahwa pondasi dianggap sebagai pelat yang dijepit oleh bagian tepi kolom.

- Penulangan Bagian Bawah Pondasi

Menghitung momen rencana yang terjadi pada pile cap menggunakan rumus:

$$M_u = 0,5 \cdot Q_u \cdot c^2 \cdot B \quad (2-144)$$

Nilai momen digunakan untuk menghitung kuat nominal dengan rumus berikut:

$$R_n = \frac{M_u}{\Phi b d^2} \quad (2-145)$$

Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan:

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad (2-146)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2-147)$$

Menghitung luas tulangan maksimum dan minimum:

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \quad (2-148)$$

$$A_{s \max} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d \quad (2-149)$$

$$A_{s \min} = \rho_g \cdot b \cdot d \quad (2-150)$$

Menghitung jarak spasi antar tulangan:

$$s = \frac{\left(\frac{1}{4} \pi D^2\right) b}{A_s} \quad (2-151)$$

- **Penulangan Bagian Atas Pondasi**

Penulangan untuk bagian atas pondasi digunakan sebanyak 50% dari luasan tulangan yang dibutuhkan pada bagian bawah. Sehingga dapat ditulis $A_s = 50\% \times A_s \text{ perlu}$

c. Penulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kondisi pengangkatan:

1. Pengangkatan dengan 2 titik angkat

Sardjono(1984). Posisi pengangkatan tiang pancang dengan menggunakan 2 titik angkat dengan jarak masing-masing sebesar a dari ujung tiang. Pada saat pengangkatan tiang tersebut, terjadi momen yang bekerja pada tiang akibat gaya angkat yang diberikan pada tiang. Momen yang terjadi adalah sebesar M_1 dan M_2 dengan nilai masing-masing momen adalah sebagai berikut:

$$M_1 = \frac{1}{2} g a^2 \quad (2-152)$$

$$M_2 = \frac{1}{8} g (l - 2a)^2 - \frac{1}{2} g a^2 \quad (2-153)$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} g a^2 = \frac{1}{8} g (l - 2a)^2 - \frac{1}{2} g a^2 \quad (2-154)$$

$$4a^2 + 4al - l^2 = C \quad (2-155)$$

2. Pengangkatan dengan 1 titik angkat

Sardjono(1984). Posisi pengangkatan tiang pancang dengan menggunakan 1 titik angkat dengan jarak sebesar a dari ujung tiang. Pada saat pengangkatan tiang tersebut, terjadi momen yang bekerja pada tiang akibat gaya angkat yang diberikan pada tiang. Momen yang terjadi adalah sebesar M1 dan M2 dengan nilai masing-masing momen adalah sebagai berikut:

$$M_1 = \frac{1}{2} g a^2 \quad (2-156)$$

$$M_2 = \frac{1}{2} g \left\{ \frac{l^2 - 2al}{2(1-a)} \right\}^2 \quad (2-157)$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} g a^2 = \frac{1}{2} g \left\{ \frac{l^2 - 2al}{2(1-a)} \right\}^2$$

$$2a^2 - 4al + l^2 = 0 \quad (2-158)$$

Pada kedua kondisi pengangkatan tersebut, dipilih nilai momen yang terbesar sebagai dasar perencanaan.

Prosedur Perhitungan Penulangan Tiang Pancang (Muchtar, 2006):

1. Mu diperoleh dari perhitungan statika maka dipakai yang terbesar
2. Mencari Mu dipakai rumus:

$$M_u = 1,2 M_D \quad (2-159)$$

3. Mencari eksentrisitas

$$M_u = \frac{M_u}{P_u} \quad (2-160)$$

4. Rasio penulangan, syarat 2% - 6%

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b.d} \quad (2-161)$$

$$A_s = \rho . b . d \quad (2-162)$$

$$A = 2 \times A_s \quad (2-163)$$

5. Pemeriksaan P_u terhadap seimbang

- Mencari d

- Mencari $C_b = \frac{600}{600 + f_y} . d$ (2-164)

- Harga β_1 ditetapkan sesuai mutu beton yang dipakai

- $ab = \beta_1 . C_b$ (2-165)

- $E_s = \frac{300(C_b - d)}{C_b}$

- $P_{nb} = 0,85 . f_c' . ab . b + (A_s . f_s) - (A_s . f_y)$

$$\phi P_n = 0,75 P_{nb} < P_u \quad (2-167)$$

6. Pemeriksaan kekuatan penampang

$$P_n = \frac{A_s . f_y}{\frac{e}{d - d'}} + \frac{b h f' c}{\frac{3 h e}{d^2} + 1,18} \quad (2-168)$$

$$\phi P_n = 0,70 P_n > P_u$$

7. Merencanakan Tulangan Sengkang

- Menentukan tulangan untuk perencanaan
- Mencari nilai $\rho_{S(\min)}$

$$\rho_{S(\min)} = 0,45 \left(\frac{A_s}{A_c} - 1 \right) \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \dots\dots\dots (2-169)$$

$$S_{(\max)} = \frac{4A_{sp}}{d_s \rho_s} \dots\dots\dots (2-170)$$

